

Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Derecho y Administración y Dirección de Empresas

Los gemelos digitales en la Industria 4.0.

Presentado por:

Carolina del Bosque Peón

Tutelado por:

Mª del Valle Santos Álvarez

Valladolid, 17 de junio de 2019

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

RESUMEN

Hoy en día las nuevas tecnologías, la digitalización y la transformación digital han cambiado el modo de vida de las personas, su forma de relacionarse y hasta el mercado laboral, que ahora demanda perfiles más cualificados en todo lo relacionado con la informática. En el campo empresarial y de la Dirección de Operaciones, instrumentos como el IoT *(Internet of things),* la IA (Inteligencia Artificial), el *Big Data* o el *machine learning* permiten ser más eficientes y simplificar y optimizar los procesos. Mediante este trabajo se pretende explicar en qué consiste la tecnología de los gemelos digitales, cómo incide positivamente en las empresas que los utilizan y cómo ayudan en el diseño de nuevos productos y en la simulación y modelización de procesos.

Palabras clave: nuevas tecnologías, procesos de producción, transformación digital, Dirección de Operaciones.

ABSTRACT

Nowadays, the rise of new technologies, as well as the digitization and the digital transformation, have changed our lifestyle, the way we interact with each other, and even the labour market and environment, which now demand more qualified profiles concerning to IT. Within the business and direction management world, certain tools such as IoT *(Internet of Things)*, AI *(Artificial Intelligence)*, Big Data or machine learning allow a greater efficiency, simplification and optimization of production processes. This paper will analyse the fresh figure of "digital twins", their technologie and the (positive) implication that carries their use, alongside how they benefit new product's desing and processes' simulation and modelling.

Keywords: new technologies, production process, digital transformation, Direction Management.

Clasificación JEL: A22: Enseñanza universitaria, **L23:** Organización de la producción, **M11:** Gestión de la producción.

ÍNDICE

1. **INTRODUCCIÓN. 5**

2. **DIGITALIZACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. 6**

2.1. La digitalización en el mundo industrial y empresarial. Smart Industry 4.0. 8

3. **GEMELOS DIGITALES: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. 13**

3.1. Definición, origen y funcionamiento. 14

3.2. Ventajas, inconvenientes y ámbitos de aplicación. 18

3.3. Los ‘digital twins’ en las PYMES. 23

4. **GEMELOS DIGITALES: EJEMPLOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN. 24**

4.1. Maserati. 24

4.2. Vuhl. 25

4.3. Rolls Royce. 26

4.4. General Electric. 26

4.5. ASTI Technology Group. 27

4.6. Frumecar. 27

4.7. Singapur Virtual. 28

4.8. Fuerzas Armadas. 29

4.9. Sonae Arauco (Tableros Tradema). 31

5. **CONCLUSIONES. 33**

6. **WEBGRAFÍA. 34**

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **DIGITALIZACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO.**

Figura 2.1: Clasificación del DESI en 2018…………………………………………….. 8

Figura 2.2: Cuadro resumen del número de vacantes, los inscritos y el salario tanto de los nuevos puestos de trabajo emergentes, como de los que siguen creciendo y los ya consolidados…………………………………………………….. 11

2. **GEMELOS DIGITALES: PASADO, PRESENTE Y FUTURO**

Figura 3.1: El equipo de control del Apolo 13 en Houston con el aparato para eliminar el CO2 de la nave……………………………………………………………... 15

Figura 3.2: Centro de visualización…………………………………………………… 17

Figura 3.3: Visualización en realidad virtual…………………………………………… 17

Figura 3.4: Visualización en realidad aumentada……………………………………… 17

Figura 3.5: Visualización mixta……………………………………………………….. 17

Figura 3.6: Top 10 de tendencias tecnológicas para 2019 según Gartner, entre las que se encuentran los *digital twins*………………………………………………… 18

Figura 3.7: Gemelo digital de un brazo industrial…………………………………... 20

Figura 3.8: Gemelo digital de un automóvil………………………………………….. 20

Figura 3.9: Gemelo digital de un ventilador del motor de un avión de Rolls Royce……………………………………………………………………………….. 21

Figura 3.10: Gemelo digital humano…………………………………………………… 23

Figura 3.11: Recreación virtual de órganos………….……………………………… 23

Figura 3.12: Gemelo digital de una planta de una PYME………………………….. 23

3. **GEMELOS DIGITALES: EJEMPLOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN**

Figura 4.1: Una de las fases finales por las que pasa el Maserati Ghibli en la planta de Turín………………………………………………………………………... 24

Figura 4.2: Modelo Vuhl 05 ROC durante la primera edición de la competición de *Race of Champions* celebrada el 19 de enero de 2019 en México……………… 25

Figura 4.3: Imagen real de Singapur………………………………………………… 29

Figura 4.4: Simulación virtual de la zona de Singapur vista en la figura 4.3………. 29

Figura 4.5: Mapa de una de las áreas de Singapur en el que se refleja la ubicación de los taxis autónomos disponibles para ser alquilados………………… 29
Figura 4.6: Fragata F-110…………………………………………………………... 30
Figura 4.7: Vehículo de combate sobre ruedas (VCR) 8x8 Dragón……………….. 30
Figura 4.8: Centro de visualización del proceso productivo de los tableros………. 32

1. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, la globalización y con ella la irrupción de las nuevas tecnologías en nuestras vidas ha supuesto cambios muy relevantes a todos los niveles, desde la forma de relacionarse hasta la manera de comprar, vender, prestar servicios o desempeñar el trabajo diario. De esta forma, la sociedad y la economía que hace no muchos años eran completamente analógicas, poco a poco están pasando a ser cada vez más digitales.

Algunas de las tecnologías punteras en el ámbito industrial en la actualidad son, entre otras, el IoT *(Internet of Things)*, el *Big Data*, el *machine learning* y la inteligencia artificial. Todas ellas están estrechamente relacionadas con el objeto de este trabajo: la tecnología de los gemelos digitales *(digital twins*, en inglés) en el ámbito empresarial y dentro del contexto de la Industria 4.0. Tras consultar varios manuales de bibliografía básica de Dirección de Operaciones como el Miranda y otros (2005) o el Arias y Minguela (Coords.) (2018), se comprueba que los gemelos digitales constituyen una materia muy novedosa y desconocida, que aún no ha sido desarrollada ni comentada en los manuales más elementales. Pese a ello, se pretende que este documento sirva como compilación de toda la información disponible sobre los *digital twins* en los medios digitales, textos periodísticos y artículos de revistas hasta la fecha. Confío en que en las próximas ediciones de los libros de texto se empiece a tratar esta materia para ayudar a difundir su conocimiento.

La importancia de los gemelos digitales en el ámbito de la Dirección de Operaciones estriba en ser una tecnología que reporta numerosos beneficios a nivel de costes, productivo y operativo, gracias a los avances que permite en el diseño y selección de nuevos productos y en la simulación y modelización de los procesos. Además, es una de las principales tendencias tecnológicas en la actualidad, y su uso crecerá exponencialmente en los próximos años, según afirman los expertos en la materia.

El texto del trabajo se divide en varios apartados que siguen un orden lógico para el lector. En primer lugar, se explica el contexto en que surge la tecnología de

los gemelos digitales, que no es otro que el de la digitalización, la transformación digital y la Industria 4.0. A continuación, se habla del origen de los gemelos digitales, las ventajas y los inconvenientes de su implementación. Y, finalmente, se relatan algunos ejemplos prácticos de aplicación que han sucedido en la realidad en diferentes empresas.

Durante el desarrollo del trabajo se ha observado que existe un completo desconocimiento del público general sobre esta materia. Por ello, se elabora este documento con el deseo de que pueda servir para dar a conocer, en la medida de lo posible, una tecnología que ya está resultando revolucionaria en el seno de las empresas.

2. DIGITALIZACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO.

Es importante no confundir los conceptos de digitalización y transformación digital, ya que, aunque parecen lo mismo, no lo son:

- Digitalización: es el proceso por el cual se emplean nuevas tecnologías digitales y se utilizan los datos que pueden ser procesados gracias a ellas, para conseguir la optimización y la estandarización de los procesos, ahorrando tiempo y recursos.
- Transformación digital: este concepto lleva implícito la disrupción de las estrategias empresariales y los modelos de negocio. No es lo mismo digitalizar las estrategias que adaptarse al entorno digital. Es decir, la transformación digital va más allá e incluye el planteamiento de cambios culturales, estratégicos y de operaciones dentro de la organización, para competir en el nuevo entorno digital.

Uno de los principales hándicaps de este nuevo mundo digitalizado al que se está evolucionando es el llamado “paro tecnológico”, que se traduce en que si las fábricas cada vez van a ir incorporando más máquinas inteligentes y procesos autónomos en sus plantas, probablemente disminuya la necesidad de capital humano, ya que sus tareas podrán ser sustituidas por estas máquinas o por robots. Sin embargo, la preocupación no es solo de los trabajadores, sino que

también muchos empresarios temen el denominado "darwinismo tecnológico", donde quienes no consigan adaptarse, tendrán bajas probabilidades de sobrevivir.

Para conocer el nivel de digitalización de España, podemos hacer referencia al Índice de Economía y Sociedad Digital (DESI)[1], que está compuesto por cinco indicadores:

1) Conectividad: banda ancha fija, banda ancha móvil y precios.
2) Capital humano: uso de internet, competencias digitales básicas y avanzadas.
3) Uso de internet: uso por parte de los ciudadanos de los contenidos, las comunicaciones y las transacciones en línea.
4) Integración de la tecnología digital: digitalización de las empresas y comercio electrónico.
5) Servicios públicos digitales: administración electrónica y sanidad electrónica.

El objetivo de este índice es hacer un seguimiento de la evolución de los Estados miembros de la Unión Europea en estos campos. Como se observa en el siguiente gráfico, en el año 2018 España ocupó el décimo puesto, situándose por encima de la media de los países europeos.

---

[1] Fuente: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2018-20/es-desi_2018-country-profile-lang_4AA8143E-CA74-9BD7-2FBD36EBA0B95CCB_52357.pdf

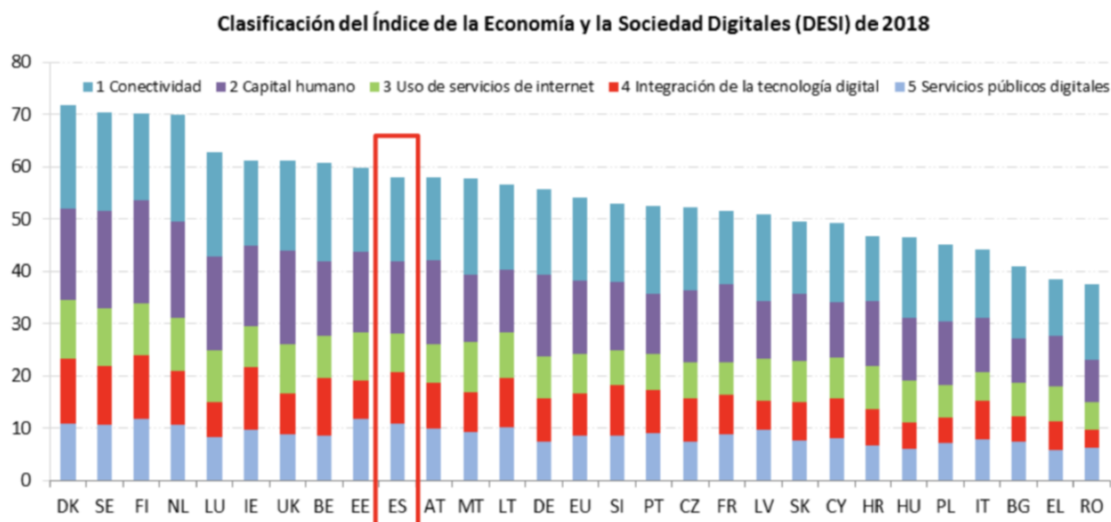


Figura 2.1: Clasificación del DESI en 2018.

Fuente: Ficha DESI España, recogida en el portal de la Administración electrónica del Gobierno de España.

Por otra parte, el Consejo Económico y Social de España (CES) en su Informe “La digitalización de la economía” publicado en marzo de 2017, sostuvo que la digitalización económica puede impulsar el uso de la economía circular en tanto y cuanto supone un incremento relativo del uso de bienes de consumo inmateriales, prolonga su vida útil gracias a las plataformas de consumo colaborativo, permite la optimización de los procesos productivos e incrementa el grado de responsabilidad social corporativa en las empresas.

2.1. La digitalización en el mundo industrial y empresarial. Smart Industry 4.0.

Como ya se ha apuntado, la sociedad y la economía cada vez están más digitalizadas. A pesar de la dinamicidad del entorno y la velocidad de los cambios, la mayor parte de las empresas no se ha quedado atrás y ha ido adaptándose a través de nuevas estrategias, modelos de negocio y la progresiva implementación de nuevas herramientas de gestión y control que han permitido conseguir importantes ahorros en tiempo y costes. Esta necesidad de adaptación ya fue reflejada en el año 2013 por el Premio Nobel de Economía Robert J.Shiller, quien expuso que: *No se puede esperar a que se queme una casa para comprar un seguro contra incendios. No podemos esperar a que haya*

perturbaciones masivas en nuestra sociedad para prepararnos para la Cuarta Revolución Industrial".

Como no podía ser de otra manera, el proceso de adaptación de las empresas a los cambios tecnológicos y a las nuevas formas de producción ha venido acompañado, necesariamente, de una creciente demanda de profesionales cualificados y especializados en todo aquello relacionado con la informática, la tecnología y las telecomunicaciones. En este sentido, según apunta Alicia Richart, Directora General de la patronal tecnológica DigitalES (Asociación Española para la Digitalización), "el 65% de los nuevos empleos están por crear. Tenemos que ser lo suficientemente hábiles para enfocarnos en actividades que sean difícilmente automatizables, y esas son en las que priman la creatividad, la destreza manual y la relación interpersonal"[2].

En la misma línea, otra muestra de que todo este contexto tecnológico afecta inexorablemente al mercado laboral se encuentra en las conclusiones del Informe Anual elaborado por InfoJobs y ESADE (Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas) en 2017 sobre el estado del mercado laboral en España, que alude a los nuevos empleos emergentes, a los que continúan creciendo y a los ya consolidados:

- Los nuevos empleos emergentes en materia de análisis de datos son: analista de datos y *'Data scientist'.*

  El concepto de *nuevos empleos emergentes* hace referencia a "aquellos que apenas existían en el mercado laboral a comienzos de década, que suelen tener un bajo nivel de competencia, suponen buenas oportunidades de empleo con relación al salario y están vinculados a la innovación y a la tecnología"[3].

  Un *'Data scientist'* es un "experto en tratamiento de datos cuyo trabajo consiste en extraer y transmitir recomendaciones a los responsables de

[2] Más información en: https://www.abc.es/tecnologia/redes/abci-alicia-richart-directora-general-digitales-espana-tiene-deficit-profesionales-materia-digital-201807090313_noticia.html
[3] Definición obtenida de: https://orientacion-laboral.infojobs.net/los-puestos-emergentes-mas-demandados

negocio de su empresa a partir de los datos de múltiples fuentes (habitualmente de Big Data)” [4].

- Los puestos de empleo emergentes que continúan creciendo son: especialista en ciberseguridad, especialista en metodología *agile* y *scrum*, robótica y especialista en *User Experience* (experiencia de usuario).

  La metodología *agile*[5] es una “metodología para el desarrollo de proyectos que precisan rapidez y flexibilidad”; y *scrum* es un marco de trabajo o *framework* que trata sobre un conjunto de buenas prácticas y trabajo colaborativo para la consecución de un objetivo común.

- Los puestos emergentes ya consolidados son: *back/front end*[6], programador móvil, desarrollador *Big Data* y *Cloud Computing.*

  El *back end* es un “término utilizado para referirse a la arquitectura interna de una página web que asegura que todos los elementos desarrollen la función correcta. No es visible a los ojos del usuario y no incluye ningún elemento gráfico”*.* Por su parte, el *front end* “es la parte que ve el usuario de una página web, en la que se incluyen la línea de diseño y los elementos gráficos de la página”.

  Un desarrollador *Big Data* se mueve en el marco del análisis, la gestión y el tratamiento de grandes volúmenes de datos y de información en el contexto empresarial. Pese a que originariamente el perfil de los expertos en *Big Data* era puramente matemático y estadístico, en la actualidad las escuelas de negocio ofrecen este tipo de formación enfocada al ámbito empresarial, de modo que perfiles de ingeniería o de administración de empresas también tienen la posibilidad de formarse en *Big Data*.

  Por último, el *Cloud Computing*[7] hace referencia al “conjunto de programas y servicios alojados en un servidor conectado a la red, accesible desde

---

[4] Definición obtenida de: https://inlab.fib.upc.edu/es/blog/que-es-un-data-scientist

[5] Definiciones obtenidas de: https://www.iebschool.com/blog/metodologia-scrum-agile-scrum/

[6] Definiciones obtenidas de https://nestrategia.com/blog-inbound-marketing/desarrollo-web-back-end-front-end/

[7] Definición obtenida de https://www.eleconomista.es/gestion-empresarial/noticias/4087167/07/12/Cloud-Computing-que-es-para-que-sirve-y-cuales-son-sus-aplicaciones-.html

cualquier ordenador con conexión a Internet donde se almacena la información generada por las aplicaciones o servicios de ese servidor".

		Vacantes	Inscritos por vacante	Salario
Nuevos puestos emergentes	Data Analyst	1.417	28	35.864€
	Data Scientist	584	22	40.336€
Puestos emergentes que siguen creciendo	Especialista en Ciberseguridad	1.795	16	32.640€
	Especialista en Agile / Scrum	1.635	9	39.281€
	Robótica	957	26	29.784€
	Especialista en User Experience	859	21	33.992€
Puestos emergentes consolidados	Back/ Front end	9.822	6	34.508€
	Programador móvil	6.253	5	32.291€
	Desarrollador Big Data	5.494	6	40.233€
	Cloud Computing	1.389	7	34.501€

Figura 2.2: Cuadro resumen del número de vacantes, los inscritos y el salario tanto de los nuevos puestos de trabajo emergentes, como de los que siguen creciendo y los ya consolidados.
Fuente: https://nosotros.infojobs.net/prensa/notas-prensa/presentacion-informe-anual-infojobs-esade-2017

Todos estos puestos de trabajo están ligados, de una u otra manera, a la llamada Cuarta Revolución Industrial, Industria 4.0 o *Smart Industry 4.0.*

Haciendo un breve repaso histórico, se aprecia que todas las revoluciones industriales han sucedido tras cambios en la tecnología entendida como forma de hacer las cosas:

- La Primera Revolución Industrial, gracias a la máquina de vapor, dio paso a la producción mecanizada (dejando atrás la producción manual).
- La Segunda Revolución Industrial estuvo marcada por la electricidad y la manufactura en masa.
- La Tercera Revolución Industrial se asocia a la computación y a las tecnologías digitales.

Por su parte, la Cuarta Revolución Industrial no tiene un inicio concreto o un hito específico, y así se deduce además de las palabras de Klaus Schwab (director ejecutivo del Foro Económico Mundial -*World Economic Forum* en inglés-), "la

cuarta revolución industrial no se define por un conjunto de tecnologías emergentes en sí mismas, sino por la transición hacia nuevos sistemas que están construidos sobre la infraestructura de la revolución digital".

Además, el WEF indica que "hay tres razones por las que las transformaciones actuales no representan una prolongación de la tercera revolución industrial, sino la llegada de una distinta: la velocidad, el alcance y el impacto en los sistemas. La velocidad de los avances actuales no tiene precedentes en la historia, y está interfiriendo en casi todas las industrias de todos los países".

El término de Industria 4.0 surgió en el seno del Gobierno alemán como fruto de un proyecto de alta tecnología. Esta industria se caracteriza, entre otras cosas, por la completa digitalización de las cadenas de suministro y producción gracias a la optimización de los procesos, permitiendo un ahorro en costes mientras se mantiene la calidad. Es decir, el cambio que introduce la Industria 4.0 no es sobre la producción, sino sobre la innovación de los procesos, los cuales tienden a simplificarse, agilizarse y automatizarse, reduciendo las probabilidades de error y mejorando la seguridad laboral.

Los gemelos digitales, objeto de estudio en este trabajo, están estrechamente relacionados con la implantación de otras tecnologías clave en la Industria 4.0, como son:

- El Internet de las cosas (*IoT* por sus siglas en inglés, *Internet of things*): se refiere al conjunto de dispositivos dotados de uno o más sensores que transmiten información a través de una red inalámbrica a un sistema (habitualmente a la 'nube[8]') donde se almacenan y procesan dichos datos para algún fin concreto.
- La Inteligencia artificial (IA) y el *machine learning*: conceptos referidos a la "simulación de procesos de inteligencia humana por parte de máquinas,

[8] Según el informe *Global Cloud Computing Scorecard 2018* elaborado por *Business Software Alliance* (BSA) España ocupa el décimo lugar de entre los veinticuatro mercados de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). https://www.eleconomista.es/gestion-empresarial/noticias/9423792/10/18/Espana-es-el-decimo-pais-que-mejor-desarrolla-su-tecnologia-de-clouding.html

especialmente sistemas informáticos[9]" y al aprendizaje automatizado, respectivamente.

- El *Big data*: son grandes volúmenes de información cuyas necesidades de almacenamiento y procesamiento no pueden ser cubiertas por las tecnologías tradicionales.

3. GEMELOS DIGITALES: PASADO, PRESENTE Y FUTURO.

Las empresas, entendidas como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí de forma dinámica, están formadas por varios subsistemas: el financiero, el comercial, el de recursos humanos y el operativo, entre otros; en concreto, el subsistema de operaciones es el encargado de la obtención de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de los consumidores en el mercado.

La obtención de bienes y servicios ha de realizarse siempre en concordancia con las decisiones estratégicas que haya tomado previamente la dirección de la empresa. Así las cosas, los recientes cambios acontecidos en la sociedad impulsados por la irrupción de las nuevas tecnologías, han provocado que las empresas hayan sentido la necesidad de adaptarse y cambiar sus planes estratégicos encaminándolos hacia la digitalización de las plantas y los procesos productivos.

Los gemelos digitales simplifican la toma de decisiones dentro de la fase de selección y diseño de nuevos productos, ya que antes de iniciar la fabricación del producto, se van a poder incluir modificaciones y realizar pruebas sobre la réplica virtual del producto en cuestión, incurriendo en unos costes mínimos. Esto es posible gracias a que los gemelos digitales permiten modelizar matemáticamente y simular los procesos, además de que posibilitan detectar cuellos de botella y modificar la producción durante la fabricación. Esto supone un avance muy importante con respecto a los métodos tradicionales de la Dirección de Operaciones, basados en los sistemas de prueba y error.

[9] Definición de https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Inteligencia-artificial-o-AI

En esta línea, cabe destacar las siguientes nuevas técnicas de diseño, ingeniería y fabricación asistida por ordenador (Domínguez y otros [2001]):

- Diseño asistido por ordenador o CAD *(Computer-aided design)*: permite comparar distintos diseños e incluir modificaciones más rápido que con los sistemas tradicionales.

- Ingeniería asistida por ordenador o CAE *(Computer-aided engineering)*: permite simular y probar el comportamiento de un determinado producto ante situaciones extremas.

- Fabricación asistida por ordenador o CAM *(Computer-aided manufacturing)*: permite programar los dispositivos de control numérico que guían la maquinaria a partir de los datos que se disponen por el CAD.

En definitiva, estas nuevas técnicas y las nuevas tecnologías, incluida la de los gemelos digitales, buscan simular los procesos, reducir los costes de fabricación, gestión y control de los productos, y aumentar sus niveles de calidad y fiabilidad.

3.1. Definición, origen y funcionamiento.

Los gemelos digitales (o *digital twins* por su nombre en inglés) son réplicas virtuales dinámicas de productos o procesos que, con ayuda de otras tecnologías como el *big data* y el IoT, permiten conocer el funcionamiento presente y el comportamiento futuro de dichos productos o procesos a través de sus equivalentes digitales, obteniendo datos de los sensores a tiempo real. Así, los gemelos digitales constituyen un mecanismo de gran valor y utilidad tanto a nivel operativo, como productivo y de costes.

El origen de los gemelos digitales se remonta a la década de los años 80, cuando la NASA comenzó a diseñar simulaciones que reflejaban el comportamiento de sus naves y equipos para asegurar el éxito de las misiones y la integridad física de los tripulantes. La motivación que llevó a la agencia aeroespacial estadounidense a profundizar en esta tecnología fue el accidente que sufrió en 1970 la misión Apolo 13 (donde nació la famosa frase: "Houston, tenemos un problema"), que finalmente no acabó en tragedia porque los ingenieros y el

equipo de control del Apolo 13 replicaron, desde la estación, un módulo gemelo de la nave para probar, en tiempo récord, soluciones a los problemas de supervivencia que estaban teniendo los astronautas. Cuando los niveles de dióxido de carbono en el Apolo 13 estaban empezando a ser insostenibles, desde Houston consiguieron crear un sistema de purificación de oxígeno con los mismos materiales que tenían los tripulantes, trasladándoles a éstos las instrucciones para que lo creasen en el espacio.



Figura 3.1: El equipo de control del Apolo 13 en Houston con el aparato para eliminar el CO2 de la nave.
Fuente: NASA.

No obstante, no es hasta el año 2003 cuando empieza a aplicarse como tal el término *digital twin*, gracias a una ponencia del ingeniero informático Michael Grieves en la Universidad de Michigan sobre la gestión del ciclo de vida del producto (en inglés, Product Lifecycle Management -PLM-). Con el paso de los años y el avance de las tecnologías de *Big Data, IoT* y almacenamiento en la nube, entre otras, se ha podido extender el ámbito de aplicación de los gemelos digitales a otros campos y sectores, de los que se hablará en el siguiente subapartado.

El funcionamiento de los gemelos digitales resulta relativamente simple, y consiste en:

1) Representar virtualmente los componentes del elemento físico en un proxy virtual mediante un modelo matemático que simule ese objeto en el mundo digital. Este trabajo lo realizan, mayoritariamente, expertos en ciencia de datos o matemáticas aplicadas.

2) Instalar sensores y otras herramientas sobre ese elemento físico para recabar información a tiempo real (*feedback* inmediato de la actividad en curso).

3) Conectar los componentes físicos del elemento a un sistema basado en la tecnología de *cloud* (la nube) que recibe, procesa y compara la información que le llega con otras variables contextuales.

Con esto ya se podría crear un gemelo digital (también de procesos o servicios) y probar sobre él todos los cambios pretendidos hasta optimizarlo y recrearlo en el mundo real, incrementando así la probabilidad de éxito.

Ahora bien, la implementación de un gemelo digital no es algo sencillo, ya que tiene que darse dentro de un contexto de transformación digital y una política de empresa que apueste por la digitalización. Gartner (empresa líder en asesoría y en investigación de las tecnologías de la información) ha recomendado cuatro pautas con el fin de facilitar la implementación de gemelos digitales[10]:

1) "Establecer modelos a partir de estándares".
2) "Involucrar a toda la cadena de valor del producto o servicio".
3) "Incluir múltiples fuentes para la recopilación de los datos".
4) "Asegurar a largo plazo el acceso a los modelos y su evolución".

Por otra parte, existen cuatro dispositivos de visualización diferentes que pueden utilizar las empresas que emplean gemelos digitales:

1) Centro de visualización: la información aparece recogida en pantallas centralizadas desde donde se puede procesar, interactuar o consultar el gemelo digital.

2) Visualización en realidad virtual: el espacio u objeto gemelo se visualiza construido y transformado en versión virtual, disponiendo de toda la información y teniendo libertad de movimiento.

3) Visualización en realidad aumentada: permite al sujeto ir paseando por la industria, consultar y actuar sobre la información del gemelo digital mediante visores de realidad aumentada.

[10] Información obtenida de https://www.bbva.com/es/que-es-un-gemelo-digital-y-para-que-sirve/

4) Visualización mixta: mezcla de las anteriores.



Figura 3.2: Centro de visualización.

Fuente: Visual Technology Lab.



Figura 3.3: Visualización en realidad virtual.

Fuente: Visual Technology Lab.



Figura 3.4: Visualización en realidad aumentada.

Fuente: Visual Technology Lab.



Figura 3.5: Visualización mixta.

Fuente: Visual Technology Lab.

No se debe caer en el error de pensar que el uso de los gemelos digitales se va a reservar en exclusiva a los ingenieros o a los *data scientists,* sino que muchos otros profesionales van a poder beneficiarse de esta tecnología; por ejemplo, los Directores de operaciones (que podrán recurrir a los *digital twins* cuando una operación no tenga la relación coste/beneficio adecuada) e incluso los propios proveedores en el ejercicio de su actividad (podrán ofrecer a sus clientes la posibilidad de probar el producto de forma virtual antes de comprarlo).

En definitiva, los gemelos digitales son un imperativo empresarial del que pueden beneficiarse, directa o indirectamente, todos los *stakeholders,* y constituyen una de las principales tendencias tecnológicas reseñadas por los expertos en los últimos años. Concretamente, David Cearley (Vicepresidente de Gartner)

identificó los gemelos digitales dentro de las principales tendencias tecnológicas de Gartner para el 2019. Además, afirmó que experimentarían un crecimiento exponencial en los próximos cinco años, llegando a predecir para 2021 que la mitad de las compañías industriales existentes usarán gemelos digitales y aumentarán su eficacia en un 10%.

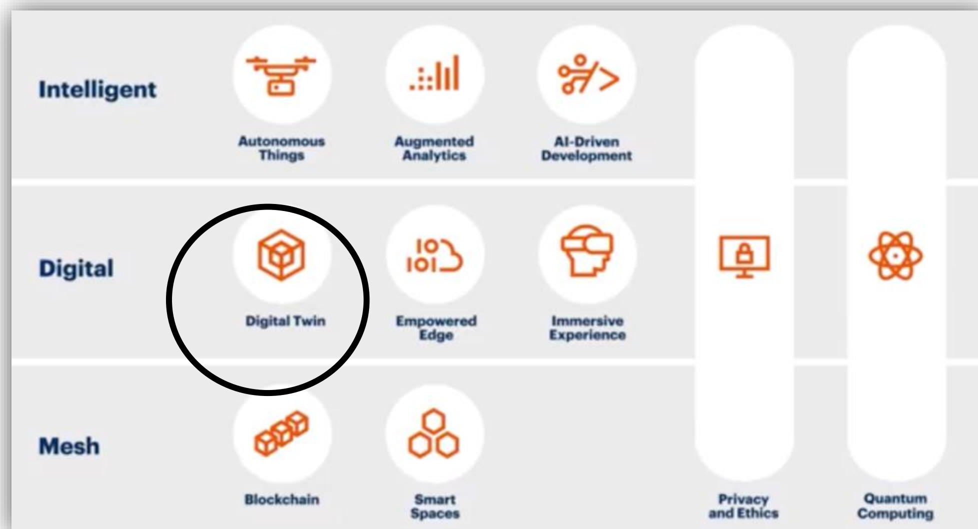


Figura 3.6: Top 10 de tendencias tecnológicas para 2019 según Gartner, entre las que se encuentran los *digital twins*.

Fuente: Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=nRTRyflDp4k&t=27s

3.2. Ventajas, inconvenientes y ámbitos de aplicación.

La unión del mundo físico con el mundo virtual de la mano de los gemelos digitales ofrece múltiples ventajas, entre las que se encuentran:

1) Diseño de productos y de procesos que permiten incrementar la productividad con respecto a los métodos tradicionales.
2) Reducción del tiempo de comercialización de un nuevo producto y reducción del coste de introducción de un nuevo producto.
3) Fiabilidad y mantenimiento predictivo.
4) Planificación de escenarios futuros.
5) Reducción del tiempo de inactividad, aumento de eficiencia, y ahorro en costes.

6) Mejora generalizada de la calidad de los procesos y productos con respecto a los niveles tradicionales.

Una posible ventaja que podría tener lugar a largo plazo si se incrementase notoriamente el uso de gemelos digitales, sería sin duda la creación de nuevos modelos de negocio que arrojarían importantes ingresos. Tal es así que los expertos de Gartner han afirmado que "en el futuro los gemelos digitales podrán comunicarse entre sí para crear modelos virtuales de fábrica digital dentro de nuestros sistemas informáticos".

A pesar de que son sustancialmente mayores las ventajas que los inconvenientes, hay que señalar dos barreras fundamentales con las que todavía se topan las empresas:

1) Dificultad para digitalizar los sistemas en planta, debido a que la arquitectura tradicional de la mayoría de las empresas es difícilmente sensorizable.

2) Otro obstáculo es el del tratamiento y gestión de la gran cantidad de datos en tiempo real que supone la tecnología de los gemelos digitales. La solución pasa por el *big data,* pero no todas las empresas pueden asumir ese coste.

Por otra parte, se puede hablar de distintos ámbitos de aplicación de los gemelos digitales, sin perjuicio de que algunos de ellos aún no estén plenamente desarrollados debido al incipiente auge de la tecnología de los *digital twins*. Se señalan a continuación algunos de los ámbitos de aplicación más habituales en la actualidad:

1) En primer lugar, un ámbito de aplicación lógico de los gemelos digitales es la gestión del ciclo de vida de un producto en la industria manufacturera. Poder testar diferentes escenarios sobre el modelo virtual ahorrará costes y será más eficaz que hacerlo sobre el producto físico. Además, los tiempos del *time to market* se reducirán y podrá hacerse un seguimiento del producto y su rendimiento durante toda su vida útil. En concreto, dentro de

la industria de automoción los automóviles pueden llevar incorporados sensores que transmiten información de tipo funcional y medioambiental, mejorando el proceso de manufactura y permitiendo un mantenimiento predictivo del coche. Además, podrían modificarse su rendimiento y sus características funcionales de cara a diseñar actualizaciones de modelos anteriores.



Figura 3.7: gemelo digital de un brazo industrial.

Fuente: IFS (Industrial and Financial Systems).



Figura 3.8: gemelo digital de un Maserati.

Fuente: Siemens.

2) Un segundo ejemplo de aplicación de los gemelos digitales es la industria aeroespacial. En este campo cobran especial relevancia las posibilidades que ofrecen los gemelos digitales en cuanto a mantenimiento predictivo, ya que a través del análisis inteligente de los datos transmitidos por los sensores de un motor de un avión en pleno vuelo, se podrían detectar anomalías susceptibles de ocasionar futuros fallos en el motor, permitiendo repararlas con antelación. Así, según Mark Martin, director de Industria para Aeroespacial y Defensa en IFS[11]: "Si los operadores saben cuándo es probable que una pieza funcione incorrectamente o se rompa, pueden ganar hasta dos o tres semanas para revisar las opciones y obtener un reemplazo del proveedor más rentable. Esto elimina la presión para encontrar una pieza a corto plazo, lo que a menudo conduce a cambios en el programa de mantenimiento y costosos suministros de emergencia". En esta industria, algunas de las compañías que han incorporado ya la tecnología de los gemelos digitales son Airbus y Rolls Royce.

[11] IFS Inteligencia Operacional (EOI) es una empresa de reconocido prestigio a nivel mundial como líder en el desarrollo y suministro de software corporativo para Planificación de Recursos Empresariales (ERP), Gestión de Activos Empresariales (EAM) y Gestión de Servicios Empresariales (ESM). Ofrece capacidades para mapear, monitorizar y gestionar un negocio.



Figura 3.9: gemelo digital del ventilador del motor de un avión de Rolls Royce.

Fuente: Nobbot.

3) Un tercer ejemplo sería la aplicación de gemelos digitales en el Marketing. Lo cierto es que el concepto de *marketing* podría dar un giro de 180º teniendo en cuenta lo que es hoy y lo que podría llegar a ser si se empleasen gemelos digitales. Si todos los bienes tuviesen su propio gemelo virtual, los clientes podrían consultar toda la información sobre los mismos que hubieran aportado otros compradores.

4) Un cuarto ejemplo es la aplicación de los gemelos digitales en la industria de Defensa, optimizando la logística de los procesos y facilitando el mantenimiento de los sistemas de armas durante todo su ciclo de vida. En el último punto del trabajo se verá un ejemplo práctico de aplicación de los *digital twins* en las Fuerzas Armadas.

5) Un último ejemplo, y probablemente el más llamativo, sea la posible aplicación de los gemelos digitales en el ámbito sanitario. Se está trabajando para que en el futuro las personas tengan un gemelo digital individualizado que ayude, entre otras cosas, a la predicción y al tratamiento y seguimiento de enfermedades. Por ejemplo, en el Hospital Universitario de Heidelberg han conseguido crear un gemelo digital de un corazón humano que late en la pantalla de la misma forma que lo hace el corazón del paciente al que corresponde, gracias a una serie de resonancias magnéticas y tomografías computarizadas del paciente. Esta

innovación se presentó en el Congreso Anual de la Sociedad Radiológica de Norteamérica (RSNA) por *Siemens Healthineers* el pasado noviembre de 2018. Allí, el cardiólogo Benjamin Meder afirmó lo siguiente: “Podríamos predecir con semanas o meses de anticipación qué pacientes enfermarán o cómo reaccionará un paciente en particular a una cierta terapia. Eso podría revolucionar la medicina".

Otro caso interesante en este ámbito es el proyecto de investigación de DZNE (Centro Alemán de Enfermedades Neurodegenerativas) y Hewlett Packard Enterprise[12] sobre las causas del alzhéimer, proyecto en el que se están examinando, cada tres años, los cambios producidos en el olfato, en la forma de caminar y en otros factores asociados a la detección temprana del alzhéimer, en una población de hasta treinta mil personas mayores de treinta años. Para poder llevar a cabo este estudio es imprescindible la utilización de sistemas capaces de analizar y tratar millones de datos, tanto para ganar rapidez y seguridad como para eliminar los cuellos de botella que han causado los sistemas informáticos tradicionales en las investigaciones médicas.

Con todo, una de las iniciativas más ambiciosas en esta línea es la liderada por *Digitwins*[13], que busca crear un gemelo virtual para cada europeo. Además, Digitwins ha comenzado a desarrollar proyectos piloto como ITFoC, en colaboración con algunos Estados miembros y la Comisión Europea, en los que utilizan modelos de pacientes virtuales enfermos de cáncer para probar tratamientos sobre ellos en busca de los mejores resultados.

[12] Hewlett Packard Enterprise es una multinacional estadounidense que ofrece a nivel mundial productos, soluciones y servicios relacionados con las tecnologías de la información.
[13] Digitwins es una comunidad compuesta por un equipo de profesionales multidisciplinares (médicos, informáticos, científicos, investigadores, economistas, éticos, políticos, entre otros) que trabajan de forma conjunta en diferentes proyectos e investigaciones.



Figura 3.10: gemelo digital humano.

Fuente: Semana.



Figura 3.11: recreación virtual de órganos.

Fuente: Semana.

3.3. Los ‘digital twins’ en las PYMES.

Una de las consecuencias del coste de implantación de tecnologías como la de los gemelos digitales es que su uso se puede ver restringido únicamente a las grandes empresas, que contarán con más recursos para poder asumir esas inversiones en comparación con las de menor tamaño. No obstante, la firma vasca Semantic Systems, lejos de conformarse, está desarrollando un gemelo digital capaz de representar todos los tipos de procesos industriales y de adaptarse a cualquier tipo de planta, acometiendo una inversión menor a la que actualmente conlleva este tipo de tecnología. El objetivo perseguido es que las pymes industriales puedan ser más eficientes y competitivas. Este proyecto tiene por nombre *SEDIT,* y está financiado por el Programa de apoyo a la I+D Empresarial de la Sociedad para la transformación competitiva (SPRI) y cofinanciado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).



Figura 3.12: gemelo digital de una planta de una PYME.

Fuente: Semantic Systems.

4. GEMELOS DIGITALES: EJEMPLOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN.

4.1. Maserati.

La marca de coches deportivos de lujo italiana perteneciente al gigante automovilístico Fiat, ha hecho del uso de las nuevas tecnologías una auténtica ventaja competitiva. Así, la planta de Maserati en Turín (antigua fábrica del Grupo Bertone) es un ejemplo de perfecta convivencia entre los robots y los operarios. En ella se fabrican actualmente dos modelos de Maserati (el Quattroporte y el Ghibli) a través de un proceso productivo totalmente digitalizado y basado en la tecnología de los gemelos digitales. Esto ha sido posible, entre otras cosas, gracias a la alianza de Maserati con Siemens, quien se ha convertido en un *partner* esencial para la marca.

El *software* CAD NX de Siemens es el que ha permitido la creación de los gemelos digitales de los Maserati. Los beneficios asociados a los *digital twins* en esta planta de Turín son: el ahorro en costes, la reducción de errores, la mejora de la calidad de los automóviles, la identificación de posibles cuellos de botella sobre los que trabajar, y el acortamiento tanto del *time to market* como del tiempo de desarrollo de nuevos vehículos. Tanto es así, que, por ejemplo, el modelo Ghibli se encuentra disponible en veintisiete versiones, trece colores y doscientas cinco configuraciones distintas.

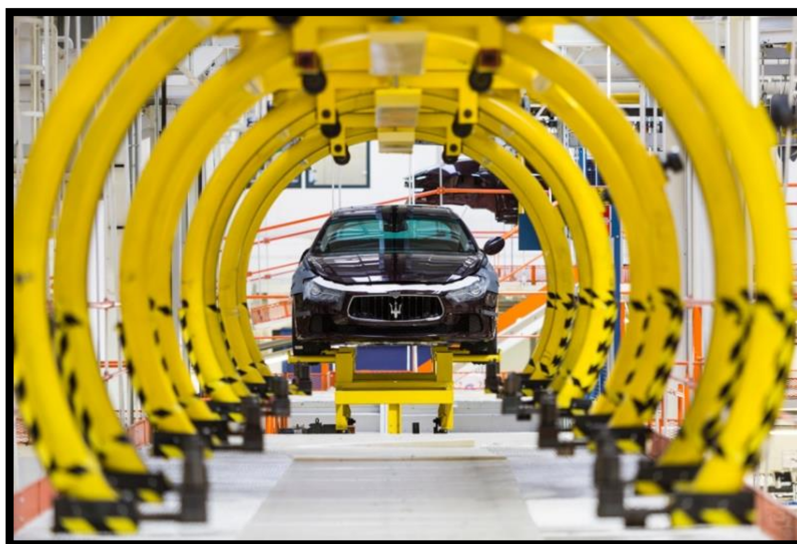


Figura 4. 1: Una de las fases finales por las que pasa el Maserati Ghibli en la planta de Turín.

Fuente: El Economista.

4.2. Vuhl.

Vuhl es una marca mexicana de coches de Fórmula 1 que emplea gemelos digitales para la fase de diseño y el proceso de fabricación del vehículo. Al igual que Maserati, Vuhl cuenta con Siemens como aliado tecnológico, habiendo renovado su colaboración en enero de 2019.

La funcionalidad más destacada de la ingeniería especializada de Vuhl es que monotorizan los coches de F1 en tiempo real con sensores que permiten que el equipo de boxes cambie o reajuste su comportamiento en la pista cuando fuese necesario. Lo más característico de esta empresa es la exclusividad y la atención que ofrecen al cliente, ya que los *software* PLM *(Product Lifecycle Management)* que emplean permiten satisfacer las demandas del cliente en cuanto a características del coche (que además de utilizarse en la Fórmula 1, se adquiere por particulares con un alto poder adquisitivo). Una prueba de esta exclusividad es que la producción mensual de Vuhl no sobrepasa de uno o dos coches. Guillermo Echevarría, director general de Vuhl, sostuvo en una entrevista para *Automotive News México* que "al tener una producción de bajo volumen y al haber adoptado estas tecnologías a nivel de diseño y producción podemos hacer un cambio de diseño en unos cuantos minutos, horas o días e integrarlos a la línea de producción inmediatamente".



Figura 4.2: Modelo Vuhl 05 ROC durante la primera edición de la competición de *Race of Champions* celebrada el 19 de enero de 2019 en México.

Fuente: 3D CAD Portal.

4.3. Rolls Royce.

La división aeroespacial de esta multinacional, que fabrica motores y otros componentes para aviones, utiliza gemelos digitales que le reportan numerosos beneficios, siendo el más destacable en este caso concreto el del mantenimiento predictivo. Por ejemplo, como se mostró en el subapartado de "Ventajas, inconvenientes y ámbitos de aplicación", Rolls Royce fabrica, entre otros productos, ventiladores de motores para aviones[14], siendo este uno de los casos donde más beneficioso puede ser conocer de antemano cuándo una pieza va a poder fallar, para así poder repararla antes de que ocasione un mal mayor.

4.4. General Electric.

Para la multinacional de la energía no existen objetivos concretos de digitalización, porque, según sostuvo Mark Grabb, Director de Tecnologías para la Analítica en General Electric, en una entrevista realizada por el Observatorio de Empresas de Vodafone, "General Electric es una empresa que no para de innovar".

Para Grabb, la inteligencia artificial y los gemelos digitales reportan múltiples beneficios a las industrias, sobre todo en términos de eficacia y rendimiento, ya que permiten plantear una multitud de escenarios virtuales, medir sus resultados y optimizarlos, lo que no sería posible hacer sobre el activo físico.

General Electric utiliza los gemelos digitales en la producción de sus motores de avión, siendo esencial el mantenimiento predictivo, que les permite estudiar los riesgos o fallos de los sistemas para anticiparse a ellos y corregirlos antes de que se produzcan, ahorrando tiempo y dinero. Concretamente, la planta de General Electric en Minden (EEUU) dispone de más de ochocientos mil gemelos digitales que monitorizan la cadena de suministro[15].

[14] https://www.nobbot.com/negocios/digital-twin-los-objetos-fisicos-buscan-a-su-gemelo-digital/

[15] https://www.observatorio-empresas.vodafone.es/articulos/grandes-empresas/general-electric-digital-twins-gemelos-digitales-mark-grabb/

4.5. ASTI Technology Group.

ASTI Technology Group es una empresa familiar de vehículos industriales de guiado autónomo que constituye un perfecto ejemplo de lo que es la transformación digital. Los vehículos que conforman las plantas de ASTI están sensorizados, de modo que además de transportar mercancía interprocesos, recogen y trasladan información sobre la actividad y sobre la planta. Pese a que inicialmente era una empresa mayoritariamente española, los últimos años ha desarrollado un proceso de internacionalización que les ha llevado a tener un total de ocho nacionalidades distintas trabajando en la plantilla, muy formadas en idiomas. Tal y como manifestó Verónica Pascual, CEO y propietaria de ASTI Technology Group, para una entrevista del Observatorio de Empresas de Vodafone: "queríamos que el propio equipo fuera tan internacional como nuestra estrategia quería serlo".

El pc a bordo, junto con los sensores que tienen todos los vehículos de ASTI, proporciona una información que supone un valor adicional al mero valor de transporte, ya que permite poder conocer mejor el funcionamiento de la planta, y establecer aplicativos y algoritmias del comportamiento de los productos en función de variables como los turnos o lo que se esté produciendo en cada momento. Para Verónica, los *digital twins* persiguen "una recreación de la realidad de la planta que te permite simular y adelantar procesos futuros para maximizar el rendimiento de todos los equipamientos de la planta"[16].

4.6. Frumecar.

Frumecar es un ejemplo de empresa española que emplea gemelos digitales y que se ha sumergido plenamente en un proceso de transformación digital. Esta empresa murciana se dedica al sector del hormigón, compite a nivel mundial y ha desarrollado un plan integral de innovación con el objetivo de llegar a ser un referente a nivel mundial en implantación de tecnologías dentro de su sector. Prueba de ello es su aplicación móvil llamada "Frumecar Vision", que les posibilita el control a tiempo real de la producción, los pedidos y la productividad

---

16 https://www.observatorio-empresas.vodafone.es/articulos/grandes-empresas/robotizacion-inteligencia-artificial-iot-industria-veronica-pascual/

de la planta (entre otras cosas) desde cualquier sitio. Además, en julio de 2018 empezaron a utilizar gemelos digitales, posibilitando a sus clientes el desarrollo de productos nuevos sin tener que interrumpir la actividad de las plantas[17].

4.7. Singapur Virtual.

Una de las aplicaciones más llamativas de los *digital twins* es su utilización en el desarrollo y diseño de las ciudades del futuro, permitiendo simplificar el trabajo de los planificadores urbanos gracias a la conjunción del IoT (internet de las cosas), los sensores, el Big Data y el *clouding*.

Durante los últimos años, los arquitectos, empresas de construcción y urbanistas han venido utilizando softwares de modelado de información de construcción (BIM por sus siglas en inglés: *Building Information Modeling*), que permitían la recopilación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida. Sin embargo, ahora es posible crear gemelos digitales de ciudades enteras, como ha hecho la empresa francesa Dassault Systemes con su plataforma 3DExperience[18] en Singapur, a través de una exhaustiva recopilación de imágenes, datos geométricos, topográficos y ambientales, entre otros.
Así pues, Singapur Virtual es un gemelo digital de Singapur que permite conocer de manera anticipada la repercusión que puede tener un determinado proyecto (como, por ejemplo, la ampliación de un barrio o la apertura de una nueva estación de metro) sobre la ciudad. Para ello, Singapur Virtual, además de recoger los tradicionales datos de mapas y terrenos, tiene incorporados mapas de tráfico en tiempo real, información demográfica e información climatológica.

---

[17] https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/227339-Frumecar-apuesta-fuerte-por-innovaciones-digitales-en-sector-de-produccion-de-hormigon.html

[18] Plataforma 3D Experience: *engloba aplicaciones de software de gran calidad para el desarrollo de productos aplicables al diseño y CAD en 3D, así como al modelado, a la simulación y a la gestión de datos o procesos.*



Figura 4.3: Imagen real de Singapur.

Fuente: Fundación de Investigación Nacional (NFR por sus siglas en inglés) de Singapur.



Figura 4.4: Simulación virtual de la zona de Singapur vista en la figura 4.3.

Fuente: Fundación de Investigación Nacional (NFR por sus siglas en inglés) de Singapur.



Figura 4.5: Mapa de una de las áreas de Singapur en el que se refleja la ubicación de los taxis autónomos disponibles para ser alquilados.

Fuente: Fundación de Investigación Nacional (NFR por sus siglas en inglés) de Singapur.

4.8. Fuerzas Armadas.

La industria de Defensa también ha experimentado un proceso de transformación digital que ha derivado en el empleo de, entre otras, la tecnología de los gemelos digitales. Durante las últimas jornadas del ciclo de conferencias *Symdex*[19] 2019 celebradas en Madrid bajo el título “Universo 4.0. – La transformación digital en Defensa”, las empresas Navantia e Indra han reseñado la vital importancia que van a tener los *digital twins* en el desarrollo de los dos

[19] El ciclo de conferencias Symdex se realiza anualmente en la Escuela Politécnica Superior del Ejército y reúne a autoridades de las Fuerzas Armadas y a importantes empresas de Defensa y Seguridad para tratar de diferentes temas.

principales programas de las Fuerzas Armadas en los próximos diez años: la *fragata F-110* para la Armada y el *vehículo de combate sobre ruedas 8x8 Dragón* para el Ejército de Tierra.

En ambos casos los gemelos digitales permiten experimentar y simular multitud de escenarios a los que podrían tener que enfrentarse en el mundo real el buque o el VCR, sin asumir ningún tipo de riesgo. En esta línea, Francisco Javier Abajo, de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa, señaló que "esta representación no solo resulta clave en la fase de diseño y producción, sino también en la etapa de vida operativa y en la configuración de las actualizaciones necesarias".

Además, Guillermo Fernández Sáez, Director de Integración de Funciones de Logística, afirmó que se está apostando férreamente por el mantenimiento predictivo, por la impresión en 3D y por todo lo relacionado con la simulación.
Por su parte, Donato Martínez, director de transformación digital de Navantia, explicó que los gemelos digitales de las fragatas simplificarán significativamente la toma de decisiones sobre los buques y permitirán tanto la simulación de todo tipo de escenarios como la evaluación de los resultados derivados del mantenimiento del buque, con un coste relativamente reducido.



Figura 4.6: Fragata F-110.

Fuente: Navantia.



Figura 4.7: Vehículo de combate sobre ruedas (VCR) 8x8 Dragón.

Fuente: Infodefensa.

4.9. Sonae Arauco (Tableros Tradema).

Tableros Tradema S.L. (antes Tafisa) es una fábrica vallisoletana perteneciente al grupo Sonae Arauco[20] que se dedica a la fabricación de finos tableros de fibras de madera. Esta empresa, que cuenta con 151 trabajadores y más de sesenta y cinco años de historia, perteneció al primer plan de expansión industrial en Valladolid y actualmente exporta el 60% de su producción a países de la Unión Europea, siendo su cliente principal Ikea Portugal.

Gracias a su capacidad para adaptarse a los cambios coyunturales y tecnológicos, Tableros Tradema ha sido catalogada en los últimos años como una Fábrica 4.0., recibiendo por ello varios premios, como el premio Data Science Awards 2016 a la mejor labor de desarrollo de la industria 4.0 en España (premio promovido por Telefónica), o el premio a la mejor transformación digital en una industria, por el Colegio de Ingenieros de Valladolid, en 2017. La apuesta que ha realizado esta empresa por la transformación digital ha hecho que hoy sea un referente para su propietario, Sonae Arauco, quien busca replicar este modelo 4.0. "*made in* Valladolid" al resto de sus plantas en Alemania y Portugal.

Los troncos, materia prima principal del proceso productivo, atraviesan las siguientes fases hasta llegar al producto final:

1) Mesa de alimentación: en ella se cargan los troncos originales.
2) Tambor descortezador: en esta fase se quita la corteza de los troncos, y aquella que no pueda formar parte del tablero, pasa a una planta de energía donde se genera toda la energía térmica que requiere el proceso.
3) Astilladora: convierte el tronco descortezado en astilla.
4) Lavadora: se lava la astilla.
5) Proceso de desfibrado: la astilla se convierte en fibra gracias al calor y la presión de los discos del digestor.
6) Secadero de tipo *flash*: se elimina rápidamente toda la posible humedad que puedan tener las fibras de madera.

---

[20] Sonae Arauco es el resultado de la fusión entre las compañías Sonae (multinacional portuguesa dedicada a la producción de tableros) y Arauco (multinacional chilena dedicada a los productos forestales de alta calidad).

7) Rodillo: la masa conformada por las fibras de madera se homogeneiza formando lo que denominan “manta”, que podrá hacerse de distintos grosores en función del tablero que se quiera producir.
8) Pre-prensado: se elimina el aire de la manta.
9) Prensado y cortado: la masa se calienta, se prensa y es cortada por dos sierras de forma totalmente perpendicular, dando lugar al tablero que será enviado al cliente final.
10) Volteador o enfriador: se enfrían los tableros para que cuando se apilen tengan una temperatura inferior a 40ºC.

Todas las fases del proceso productivo están digitalizadas y se controlan de forma remota desde diferentes pantallas ubicadas en una sala de visualización, donde se reciben a tiempo real datos sobre los indicadores de temperatura, presiones y humedades. Alberto Vicente, ingeniero de procesos y trabajador de Tableros Tradema, explica cómo el gemelo digital del proceso de producción permite recibir información en tiempo real sobre el estado de éste y predecir algunas averías, pudiendo hacer paradas programadas para solucionarlas.



Figura 4.8: Centro de visualización del proceso productivo de los tableros.

Fuente: Hablemos de empresas.

Para Ángel García Bombín, Jefe de Producción de Sonae Arauco, el gemelo digital empieza con una fase de descripción (que se traduce en realizar una copia digital de los elementos físicos de la planta), continúa con una fase de predicción

(que posibilita el mantenimiento preventivo), y alcanza su máxima con una tercera fase que podría decirse que es el objetivo final del gemelo digital: la simulación (en la planta de Valladolid simulan el secado de las fibras de la madera, cambiando virtualmente las condiciones de secado y analizando los resultados, sin ningún tipo de coste ni pérdidas de tiempo).

5. CONCLUSIONES.

La confluencia en el ámbito industrial de las nuevas tecnologías como el IoT *(Internet of Things)*, la IA (Inteligencia Artificial), el *Big Data* y el *machine learning* ha supuesto grandes avances para las empresas que se han sumergido en procesos de transformación digital. En concreto, las empresas que han apostado por la incorporación de gemelos digitales a su modus operandi han comprobado los numerosos beneficios que reporta esta aún incipiente tecnología, debiendo destacar los relativos a la reducción de costes gracias al mantenimiento predictivo y los relativos a la detección de cuellos de botella o excesos de capacidad, que permiten evitar tiempos de inactividad planeando, en caso de ser necesario, paradas programadas de la producción.

Además, resulta especialmente importante la posibilidad de personalizar los productos adaptándolos a las necesidades o preferencias de los clientes, que cada vez son más variadas, dejando de lado las producciones completamente estandarizadas y dando pie a innovar y a desarrollar diferentes modelos de un mismo producto. En último término, los gemelos digitales están consiguiendo aumentar los niveles de productividad de las fábricas y la calidad y fiabilidad de sus productos.

Pese a que los gemelos digitales ya juegan un papel importante en muchos sectores (destacando el de la industria manufacturera) aún queda mucho por recorrer e investigar, ya que muy probablemente en un corto-medio plazo se descubran nuevos avances en campos tan importantes como la sanidad.

Por otra parte, el mercado laboral también se ha visto afectado por las nuevas tecnologías, habiéndose incrementado en los últimos años la demanda de puestos de trabajo emergentes relacionados principalmente con la informática y el análisis de datos. Por ello, es necesario ser conscientes de la importancia que va a tener este tipo de formación en los próximos años, para afrontar un entorno en constante cambio que va a requerir, muy probablemente, de un reciclaje constante por parte de los trabajadores.

Esto es motivo de reflexión para todos, ya que en mi opinión muchos grados que se imparten hoy en día en las Universidades están demasiado enfocados en la teoría, poco centrados en la práctica y no satisfacen unas exigencias informáticas mínimas que presumiblemente van a exigirse el día de mañana en cualquier empresa y en cualquier trabajo.

6. WEBGRAFÍA.

- ***Digitalización. Cuarta Revolución Industrial. Industria 4.0.***

Tecnología para los negocios. Cámara de Valencia: “Smart Industry 4.0: solo el 5% de las empresas están preparadas para la digitalización real”. Disponible en: https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/smart-industry-4-0-solo-el-5-de-las-empresas-estan-preparadas-para-la-digitalizacion-real/

Digitales: “La cuarta revolución industrial”. Disponible en: https://www.digitales.es/industria-4-0

BBC: “Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos)”. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834

El economista: “La falta de digitalización impide que España ahorre 75 euros por gestión” (20/03/2019). Disponible en: https://www.eleconomista.es/economia/noticias/9772467/03/19/La-falta-de-digitalizacion-impide-que-Espana-ahorre-75-euros-por-gestion.html

Tecnología y personas: “Digitalización y transformación digital” (18/01/2018). Disponible en: https://tecnologiaypersonas.es/digitalizacion-y-transformacion-digital/

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCTUR). Publicaciones periódicas. Revista de economía industrial: “La digitalización del mundo industrial”. Disponible en: https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/405/FERNANDEZ%20Y%20PAJARES.pdf

Informe del Consejo Económico y Social España (03/2017): “La digitalización de la economía”. Disponible en: http://www.ces.es/documents/10180/4509980/Inf0317.pdf

InfoJobs: “Los puestos de empleo emergentes más demandados”. Principales conclusiones del Informe Anual InfoJobs ESADE 2017 (10/03/2018). Disponible en: https://orientacion-laboral.infojobs.net/los-puestos-emergentes-mas-demandados

- ***Gemelos digitales.***

BPS *(Business Publications Spain)*: “Gemelos Digitales, o cuando al primer modelo lo llamábamos prototipo” (06/04/2018). Disponible en http://www.computing.es/infraestructuras/opinion/1104676001801/gemelos-digitales-al-primer-modelo-llamababamos-prototipo.1.html

Telcel Empresas: “Qué es un “gemelo digital” y cómo puede aprovecharse en la industria” (21/12/2017). Disponible en: https://telcelempresas.com/que-es-un-gemelo-digital-y-como-puede-aprovecharse-en-la-industria/

Instituto Tecnológico de Informática (ITI): “Gemelos digitales en la transición a la Industria 4.0” (28/02/2019). Disponible en: https://digitaltwins.iti.es

BBVA: “¿Qué es un gemelo digital y para qué sirve?” (30/01/2019). Disponible en: https://www.bbva.com/es/que-es-un-gemelo-digital-y-para-que-sirve/

Marketing 4 ecommerce: “Qué es un Digital Twin o gemelo digital y qué aplicaciones prácticas tiene” (24/08/2018). Disponible en: https://marketing4ecommerce.net/digital-twin-gemelo-digital-aplicaciones-practicas/

Tecnología para los negocios. Cámara de Valencia: “¿Cómo ayuda el gemelo digital al desarrollo de negocio?”. Disponible en: https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/ayuda-gemelo-digital-digital-twin-al-desarrollo-negocio/

BBC: “¿Qué son los gemelos digitales y cómo nos permiten diseñar las ciudades del futuro?” (19/01/2019). Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias-46919559

Nobbot, tecnología para las personas: “’Digital Twin’: los objetos físicos buscan a su gemelo digital” (16/03/2018). Disponible en: https://www.nobbot.com/negocios/digital-twin-los-objetos-fisicos-buscan-a-su-gemelo-digital/

Hablemos de empresas: “Más allá de robots y Big Data: los protagonistas explican la revolución silenciosa del ‘digital twin’ en la industria” (05/07/2018). Disponible en: https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/gemelo-digital-en-la-industria/

Forbes: What Is Digital Twin Technology - And Why Is It So Important? (06/03/2017). Disponible en: https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/03/06/what-is-digital-twin-technology-and-why-is-it-so-important/#370504432e2a

Computer world: “Gemelos digitales. La tecnología que revolucionará el despliegue informático”. Disponible en: https://www.computerworld.es/tendencias/gemelos-digitales-la-tecnologia-que-revolucionara-el-despliegue-informatico

ABB Corporate Research Center Ladenburg. Review: “El gemelo digital: un componente de software clave en Industria 4.0” (03/2018). Disponible en: https://library.e.abb.com/public/f20efcfd3133423c9d9569874cd7e592/27-33%20m8046_ES_72dpi.pdf?x-sign=CjAQKiC6oqbY64auzAc45/Arf2A6/YonXhu73tTX2L9TVFepZquZBBMUP0himWtJ

IFS World: “Gemelos digitales”. Disponible en: https://www.ifsworld.com/es/solutions/ifs-applications/ifs-labs/digital-twins/

Visual Technology Lab: “¿Qué es un gemelo digital? Industria 4.0” (13/07/2017). Disponible en: https://www.vt-lab.com/que-es-un-gemelo-digital/

Universidad de Valencia: “¿Cómo funciona un gemelo digital?” (23/02/2019). Disponible en: https://www.universidadviu.es/gemelo-digital-definicion-funcionamiento-y-ejemplos/

Youtube: “Gartner Top 10 Strategic Technology Trends 2019” (15/10/2018). Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=nRTRyfIDp4k

BPS *(Business Publications Spain)*: “Gemelos digitales, IA y blockchain cambiarán a las empresas en 2019” (11/12/2018). Disponible en: http://www.computing.es/infraestructuras/opinion/1109186001801/gemelos-digitales-ia-y-blockchain-cambiaran-empresas-2019.1.html

Phillips: “The rise of the digital twin: how healthcare can benefit” (30/08/2018). Disponible en: https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html

Grupo Garatu: "El gemelo digital en la industria 4.0". Disponible en: https://grupogaratu.com/gemelo-digital-digital-twin-en-industria-4-0/:

Fundación Telefónica: "Gemelos digitales en medicina: llegan nuestros dobles virtuales" (11/03/2019). Disponible en: https://telos.fundaciontelefonica.com/la-cofa/gemelos-digitales-en-medicina-llegan-nuestros-dobles-virtuales/

Semana: "En un futuro las personas tendrían su propio gemelo digital para ayudar a predecir enfermedades" (19/03/2019). Disponible en: https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/el-futuro-de-la-medicina-que-son-los-gemelos-digitales-y-para-que-sirven/606160

Hewlett Packard Enterprise: "Un instituto de investigación en Alemania evalúa la computación basada en la memoria para luchar contra las enfermedades neurodegenerativas". Disponible en: https://www.hpe.com/es/es/customer-case-studies/dzne-memory-driven.html#

DigiTwins: "Digital twins for better health (Better diagnosis – Better care – Better life)" Disponible en: https://www.digitwins.org/?_ga=2.149093238.1311968796.1553789183-1636938705.1553167936

Asociación de Usuarios de SAP España (AUSAPE): "El auge del "gemelo digital" gracias al IoT en la Industria 4.0" (10/2018). Disponible en: https://www.aspaconsulting.com/wp-content/uploads/2018/10/2018.10-AUSAPE-revista-n57-ASPA.pdf

El Correo: "Una firma vasca desarrolla gemelos digitales para pymes" (11/02/2019). Disponible en: https://www.elcorreo.com/economia/tu-economia/empresa-vasca-lanza-20190211124236-nt.html

Pharmatech: "Gemelos digitales adaptables a todos los sectores industriales" (15/02/2019). Disponible en: https://www.pharmatech.es/noticias/20190215/gemelos-digitales-adaptables-todos-sectores-industriales#.XJN53C1DnjA

Ciudades del futuro: "Maserati, "a todo gas" hacia la digitalización" (15/04/2015). Disponible en: https://ciudadesdelfuturo.es/maserati-a-todo-gas-hacia-la-digitalizacion.php

El economista: "Viaje al corazón de Maserati en Turín" (07/12/2015). Disponible en: https://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/7202384/12/15/viaje-al-corazon-de-maserati-en-turin.html

3D CAD Portal: "Siemens PLM y VUHL fabricante del superdeportivo mexicano reafirman colaboración como aliados tecnológicos" (23/01/2019). Disponible en: http://www.3dcadportal.com/siemens-plm-y-vuhl-fabricante-del-superdeportivo-mexicano-reafirman-colaboracion-como-aliados-tecnologicos.html

CNN Español. Economía: "VUHL, el auto global de Mexico" (21/01/2019). Disponible en: https://cnnespanol.cnn.com/2019/01/21/vuhl-el-auto-global-de-mexico/

Mexico autonews: "Gemelo digital será tendencia tecnológica para 2019" (11/12/2018). Disponible en: https://mexico.autonews.com/tecnologia-de-manufactura/gemelo-digital-sera-tendencia-tecnologica-para-2019

Nobbot: "*Digital Twin:* los objetos físicos buscan a su gemelo digital" (16/03/2018). Disponible en: https://www.nobbot.com/negocios/digital-twin-los-objetos-fisicos-buscan-a-su-gemelo-digital/

El Observatorio Vodafone de la Empresa: “Los ‘digital twins’ guían la innovación y la planificación en General Electric”. Disponible en: https://www.observatorio-empresas.vodafone.es/articulos/grandes-empresas/general-electric-digital-twins-gemelos-digitales-mark-grabb/

El Observatorio Vodafone de la Empresa: “La poderosa alianza de la robotización, la inteligencia artificial e internet de las cosas en la industria”. Disponible en: https://www.observatorio-empresas.vodafone.es/articulos/grandes-empresas/robotizacion-inteligencia-artificial-iot-industria-veronica-pascual/

Interempresas: “Frumecar apuesta fuerte por las innovaciones digitales en el sector de la producción de hormigón” (16/10/2018). Disponible en: https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/227339-Frumecar-apuesta-fuerte-por-innovaciones-digitales-en-sector-de-produccion-de-hormigon.html

Youtube: “3DEXPERIENCity® - Virtual Singapore: Singapore’s Innovative City Project - Dassault Systèmes”. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=Dix-8SNxlAo

Infodefensa: “El gemelo digital, un nuevo concepto de mantenimiento para la F110 y el 8x8” (03/04/2019). Disponible en: https://www.infodefensa.com/es/2019/04/03/noticia-industria-apuesta-gemelo-digital-mejorar-mantenimiento.html

Youtube: “Symdex 2019 | Transformación digital en Defensa | Armada | Fragata F-110”. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?time_continue=106&v=rpmNy3b4aes

Hablemos de empresas: “Más allá de robots y Big Data: los protagonistas explican la revolución silenciosa del “digital twin” en la industria” (05/07/2018). Disponible en: https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/gemelo-digital-en-la-industria/

Youtube: “Reportaje de Tableros Tradema Valladolid (SONAE ARAUCO) emitido en el programa de rtvcyl Hecho en Castilla y Leon” Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=56x8fjpGBAM

El Economista: “Sonae Arauco replicará su fábrica 4.0 de Valladolid en todas sus plantas” (05/03/2018). Disponible en: https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/8981156/03/18/Sonae-Arauco-replicara-su-fabrica-40-de-Valladolid-en-todas-sus-plantas.html